



EESTI MAAÜLIKOOL
Tehnikainstituut

Henry Kerge

**SAGEDUSMUUNDURI SEADEPARAMETRITE MÕJU
ELEKTRIAJAMI ENERGIATARBIMISELE**

SETTING PARAMETERS EFFECT OF FREQUENCY
CONVERTER TO ENERGY CONSUMPTION

Bakalaureusetöö
Tehnika ja tehnoloogia õppekava

Juhendaja: lektor Hardi Hõimoja *PhD*

Tartu 2018

Eesti Maaülikool		Bakalaureusetöö	
Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		lühikokkuvõte	
Autor: Henry Kerge		Õppekava: Tehnika ja tehnoloogia	
Pealkiri: Sagedusmuunduri seadeparameetrite mõju elektriajami energiatarbimisele			
Lehekülgi: 32	Jooniseid: 16	Tabeleid: 6	Lisasid: 0
<p>Energiakasutuse õppetool</p> <p>Uurimisvaldkond: 4. Loodusteadused ja tehnika, 4.17. Energeetikaalased uuringud, 4.8. Elektrotehnika ja elektroonika</p> <p>CERCS: T140, T170.</p> <p>Juhendaja(d): Hardi Hõimoja <i>PhD</i></p> <p>Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu 2018</p>			
<p>Kasvava tarbimisühiskonna tõttu on suurenemas ka energiatarve. Üha suurenev tarbimisühiskond survestab tehaseid ja tootmisi enda tegevust laiendama. Suure nõudluse tõttu tuleb toota rohkelt energiat. See, et energiat ei saa toota lõputult, on aga ilmselge. Selleks, et energiat säästa on mitmeid erinevaid viise. Antud töö uurib sagedusmuunduri mõju sellisele energiasäästule, mis aitaks ettevõtetel säästlikumalt ning konkurentsivõimelisemalt tegeleda. Ajami juhtimiseks, kasutatades sagedusjuhtimist, on mitmeid erinevaid viise ning meetodeid. Lisaks levinud skalaarjuhtimisele uuriti ka vektorjuhtimist. Selles töös uuritud põhiviisidest selgus, et kõige energiasäästlikum viis ajameid juhtida, on lineaarjuhtimine, sisestades sagedusmuundurisse tehases sisestatud andmete asemel konkreetse käitava ajami enda sildiandmed. Selline juhtimisviis oli maksimaalseid kasutegureid võrreldes 1.6 protsenti säästlikum kui vektorjuhtimine. Suurim paindlikkus ajami juhtimisel ilmnes vektorjuhtimise puhul, kusjuures paindlikkus energiasäästu kui sellist mõjutab pigem vähe. On ilmne, et kui ettevõttes masin töötab, siis on otstarbekas kui masin töötab võimalikult suure kasuteguriga. Sellisel juhul on kõige otstarbekam kasutada lineaarjuhtimist.</p>			
Märksõnad: säästlikus, juhtimisviisid, elektrimootorid, energeetika			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Bachelor's Thesis	
Author: Henry Kerge		Curriculum: Engineering	
Title: Setting Parameters Effect of Frequency Converter to Energy Consumption			
Pages: 32	Figures: 16	Tables: 6	Appendixes: 0
<p>Chair of Energy Application Engineering</p> <p>Field of research: 4. Natural Sciences and Engineering, 4.17. Energetic Research, 4.8. Electrical Engineering and Electronics.</p> <p>CERCS: T140, T170.</p> <p>Supervisors: Hardi Hõimoja <i>PhD</i></p> <p>Place and date: Tartu 2018</p>			
<p>Due to the growing consumer society, energy consumption is increasing as well. An ever-expanding consumer society is pushing plants to expand its own operations. Due to high demand, energy is being produced even more. However, the fact that energy can not be produced indefinitely is obvious. There are several different ways to save energy. This work examines the effect of the frequency converter on such energy savings, which would help businesses to be more economical and competitive. There are several different ways and methods to drive a machine using frequency control. In addition to widespread scalar control, vector control was also examined. The methods studied in this work showed that the most energy-efficient way to drive electrical machine is linear control by inserting label data for a given electrical machine into the frequency converter instead of data entered in the factory. This mode of management had a maximum efficiency of 1.6 per cent more economical than vector control. However, the greatest flexibility in driving the electrical machine was revealed precisely in the case of vector control, with relatively little effect on maximum energy savings. It is obvious that if the machine is operating in a company, then it is practical to operate the machine with the greatest possible efficiency. In this case, it would be most expedient to use linear control.</p>			
Keywords: economy, management, electric engines, energy			

SISUKORD

SISSEJUHATUS	5
1. ELEKTRIAJAMITE KIIRUSE REGULEERIMISE VÕIMALUSED	7
2. SAGEDUSMUUNDUR JA SELLE TÖÖPÕHIMÕTE.....	8
3. SAGEDUSMUUNDURI JUHTIMISE VIISID	12
3.1 Uurimustöös kasutatud juhtimise viisid.....	12
3.2 Skalaarjuhtimine	12
3.2.1 Lineaarjuhtimine.....	13
3.2.2 Ruutjuhtimine	14
3.3 Vektorjuhtimine	14
4. SAGEDUSMUUNDURI KATSETUSLIK UURIMINE.....	16
KOKKUVÕTE	30
KASUTATUD KIRJANDUS.....	31

SISSEJUHATUS

Üheks aktuaalsemaks teemaks 21. sajandi ühiskonnas on energeetika. Järjest suureneva heaolu- ja tarbimisühiskonna tõttu on suurenenud ja hetkel suurenevas ka energiatarbimine. See toob kaasa ka inimeste suurema teadlikkuse antud vallas. Aina suurem on soov oma ökoloogilise jalajälje vähendamiseks midagi ette võtta – olla elektri kulutamisel kokkuhoidlikum, kasutada pigem taastuvenergiat, vahetada igapäevased hõõgpirnid LED-ide vastu ja muud. Energia kokkuhoid on ühiskonna säilimise vaatevinklist väga oluline, samas mõjutab energia kokkuhoid suures osas ka suurtööstuseid- ja ettevõtteid. 2010. Aasta seisuga on elektri tarbimine sektorite kaupa jagatud: 2% muu tarve, 2,4% transport, 29,4% teenindussektor, 29,7% majapidamised ning suurim osa, 36,5% tööstused [1]. Viimaste osakaal energia tarbimises on võrdne 1,036 TWh (1,036 miljardit kWh). Pea 2/3 sellest tarbimisest, ligikaudu 650 TWh, oli elektriajamite ja nende süsteemide energiatarve. Kolmandas sektoris, s.t ühe osana teenindussektorist, oli erinevate elektriajamite energiatarve ligikaudu 200 TWh [1]. Eeltoodud statistika näitab vägagi ilmekalt kui palju elektrimasinate ning -ajamite tööks kulub energiat. Kui masinaid on ettevõttes palju ja nad töötavad pidevalt ja pikki tunde järjest, on isegi kõige pisem kadu kasuteguris ja selle tulemusel ka tarbitavas energias kokkuvõttes suuremahuline. Kadude vältimiseks on oluline ajamite korrektne ning õige töörežiim. Kuna ajameid saab juhtida mitut erinevat viisi on oluline leida kõige ökonoomsem ja energiasäästlikum, see tähendab ühtlasi suurima kasuteguriga variant. Suur kasutegur ja väiksem energiatarve aitavad säästa kuludelt ja kokkuvõttes võimaldavad edendada ettevõtte konkurentsivõimet ja majandusliku edu.

Sagedusreguleerimisega vahelduvvoolu elektriajamid on paljudele tööstustele ja ettevõtetele kasulikud kuna nendega saab oluliselt säästa energiat. Kui varasemad sagedusmuundurid olid ettenähtud vaid sageduse ja toitepinge sujuvaks reguleerimiseks siis kaasaegsed muundurid suudavad palju rohkem, omades hulgaliselt erinevaid funktsioone [2]. Antud uurimustöös uuribki autor kaasaegsemat ning rohkete võimalustega sagedusmuunduri

ABB ACS550-01 erinevaid seadeparameetreid, töörežiime, nende valikuid ja nende võimalusi elektriajami erinevaks tööks ning käitamiseks. Elektriajamiks on 3 faasiline, 4-pooluseline, asünkroonmootor, mille nimivõimsus on 1,1 kW ning mis on ühendatud kolmnurk ühendusse. Mootorit koormatakse erinevatel koormustel läbi hooratta kasutades pöörisvoolupidurit. Katsetusi viiakse läbi Maaülikooli õpperuumides selleks vastavalt koostatud stendis. Tehakse mitmeid erinevaid mõõtmisi ning katsetusi ja leitakse kõige efektiivsemad seadeparameetrid antud elektriajamile.

1. ELEKTRIAJAMITE KIIRUSE REGULEERIMISE VÕIMALUSED

Erinevad elektriajamite kasutuse viisid nõuavad nende reguleerimiseks ka erinevaid mooduseid. Mitmed olukorrad vajavad mootori kiiruse muutmist ilma, et momendi väärtused sealjuures muutuksid. Elektriajamite kiiruseid saab muuta neljal põhilisel moel:

- 1) Pooluspaaride arvu muutmisega
- 2) Libistusega
- 3) Muutes toitepinge suuruse väärtuseid
- 4) Muutes toitepinge sagedust

Pooluspaaride arvu muutmine annab ajami juhtimiseks väga hüppelise reguleerimise viisi kuna nimisagedusel 50 Hz, poolusepaaride arvu muutmise korral on võimalik saada ainult sünkroonkiirusi nagu 750, 1000 ja 3000 p/min. Sujuv reguleerimine pole sellisel moel võimalik. Pöörlemiskiiruse reguleerimine libistusega on võimalik ja toimiv vaid koormatud mootori korral, kuid tühijooksul töötava mootori pöörlemiskiirusele selline reguleerimisviis mõju ei avalda. Puudusena on mootori libistuse suurenemisel kaasnev elektrilise kao suurenemine ning seetõttu ka mootori kasuteguri vähenemine. Toitepinge suurust muutes kaotab tugevalt ajami kasutegur, seega kõige mugavamaks ning säästlikumaks reguleerimisviisiks võib nimetada sagedusjuhtimist. [3]

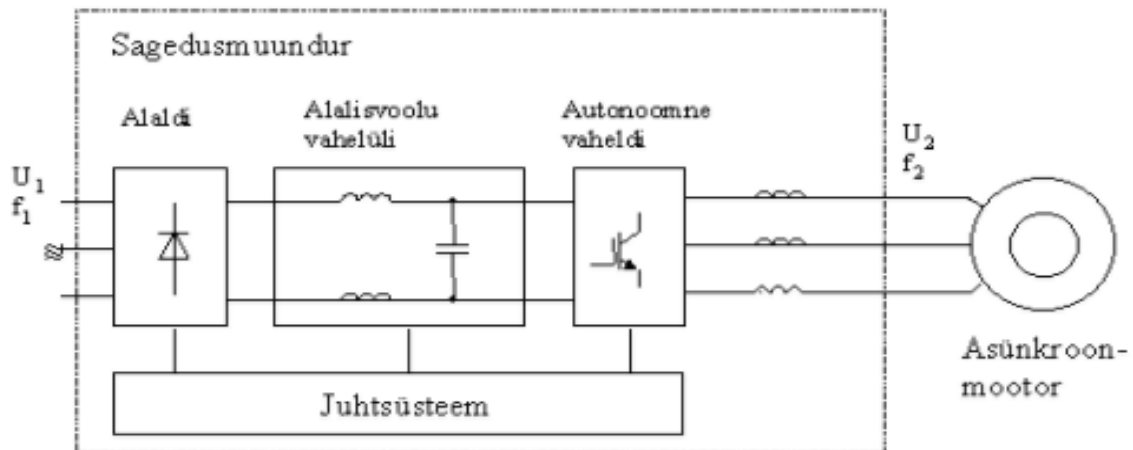
2. SAGEDUSMUUNDUR JA SELLE TÖÖPÕHIMÕTE

Sagedusmuunduriteks nimetatakse seadmeid mida saab kasutada vahelduvvoolu sageduste muutmiseks. Kui varasemalt kasutati sagedusmuundureid ajamite toitepinge ning sageduse sujuvaks reguleerimiseks siis tänapäevaste sagedusmuundurite peamisteks ülesanneteks on elektriajamite juhtimine, ülekoormuse ja rikete eest hoiatamine ning kaitsmine. Teisiti võib sagedusmuundurit vaadata kui tervet ajamiplokki – ta peidab endas nii toitemuundurit, erinevaid andureid ning juhtseadet. Suudab hallata nii elektriajamit ennast kui ka sellega koos töötavat töömasinat. Erinevate andurite ja liideste abil saab muunduri ühendada väga keerulistesse ja mitmeastmelistesse süsteemidesse. Suur valik erinevaid sätteid võimaldavad juhtida lisaks pingele ja sagedusele ka ajami välja-, momendi- või kiirusvektoreid. [2] Sagedusmuundurite kasutusala on väga lai: pumpade, konveierite, tõstemasinate, liftide, laevade sõukruvide, elektritranspordi, tööpinkide ja muude masinate ajamite kiiruse reguleerimine [4]. Võrreldes konstantse kiirusega ajameid, mille koormused ei ole pidevalt muutuses, on muutuva koormusega töömasinatel võimalik energiat kokku hoida just tänu juhitava kiirusega ajamile, kuna see võimaldab mootorile töö jaoks paindlikemaid parameetreid [4].

Üldjuhtudel muudetakse sagedusmuunduriga elektrivoolu sagedusi 0-100 Hz vahemikus [5]. Tänapäevastel muunduritel on see vahemik suurem, ka 0-500 Hz [6]. Euroopa riikides, Venemaal, Hiinas, Austraalias ning Jaapanis on elektrivoolu sageduseks, mis tuleb elektrivõrgust, 50 Hz. Põhja- ja Lõuna-Ameerikas, Saudi-Araabias ja osades Aafrika maades on elektrivõrgust tuleva elektrivoolu sageduseks 60 Hz. Tavaliselt on elektrivõrgust tulev pinge 50 Hz puhul 230 volti ning 60 Hz puhul 110 volti. [7]

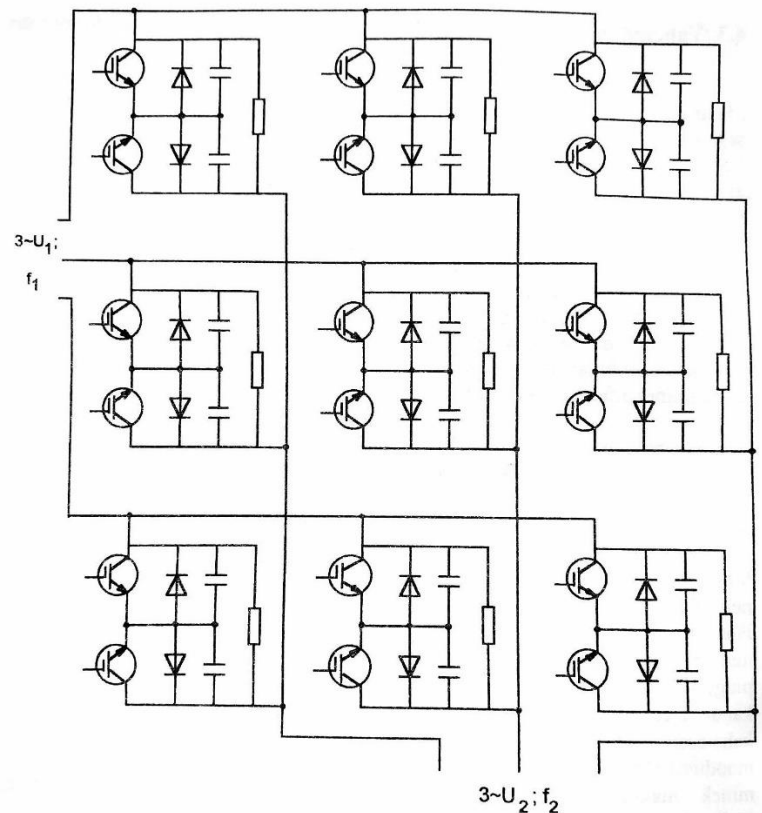
Sagedusmuundurid liigitatakse vastavalt alalisvoolu vahelüluga sagedusmuundurid ja vahetud sagedusmuundurid. Neist esimesed koosnevad alaldist, mis on kas juhitud või mitte, alalisvoolu vahelulist ning vaheldist. Alaldi komponentideks on diodid ning ülesandeks on vahelduvvoolu muundamine alalisvooluks. Alalisvoolu vahelüli komponentideks on kondensaator, käivitus-ja pidurdusahel ning täidab ta alalisvoolu silumise ülesannet, mis on

võimalik tänu kondensaatoritele. Vaheldis muundatakse alalisvool tagasi vahelduvvooluks .[2] [8] Sagedusmuunduri struktuurskeem on näidatud joonisel 2.1.



Joonis 2.1. Alalisvoolu vahetüliga sagedusmuunduri struktuurskeem [5].

Vahetute sagedusmuundurite töö seisneb võrgusagedusega pinget muundamises otse reguleeritava sagedusega väljundpingeks. Kasutusel on mittesulavate türistoridega faasjuhtimisega tsüklokonverterid ja suletavate ventiilidega sundkommutatsiooniga tsüklokonverterid – maatriksmuundurid. Maatriksmuundurid võimaldavad sagedust ja väljundpinget muuta laias vahemikus. Väljundpinge moodustatakse kolme faasilisest sisendpingest vahetult. Väljundisse lülitatakse kordamööda sisendpingete lainekatkeid. Kuna maatriksmuunduritel puudub alalisvoolu vahetüli siis tänu sellele võimaldavad nad kokkuhoidu alaldi ventiilide arvelt. Samas jällegi on maatriksmuunduritel ventiile üle kolme korra rohkem võrreldes tavalise vaheldiga (Joonis 2.2.), pinget juhtimine on tülikam ning kallim – seetõttu ka vähem tõhus. [5]



Joonis 2.2. Matrikssagedusmuunduri struktuurskeem [5].

Sagedusmuunduril saab mitmeid seadme parameetreid muuta. Muutmise maneeeri järgi liigitatakse need parameetrid kolme rühma:

- 1) Tootja poolt sätitavad parameetrid millede muutmiseks informatsioon üldjuhul kasutajal puudub [2].
- 2) Sagedasti sätitavad parameetrid nagu sägedussäte, kiirendus- ja aeglustusrambi kestused, ruomesagedussäte ja muud, mida kasutaja saab muuta ja mida muudetakse tihedmini [2].
- 3) Harva sätitavad parameetrid nagu nimivool, nimipinge, põhisagedus jm, mis sisestatakse masina esmakordselt käivitamisel kasutaja poolt, ning mida saab hiljem ümber muuta [2].

Vastavalt sagedusmuunduriga ajami otstarbele, muutuvad need järjest funktrionaalsemaks ja paindlikumaks:komponentajamid→detsentraliseeritud
ajamid→üldmasinaehitusajamid→standardajamid→tööstusajamid [2].

3. SAGEDUSMUUNDURI JUHTIMISE VIISID

3.1 Uurimustöös kasutatud juhtimise viisid

Sagedusmuunduritega ajamites kasutatakse kahte tüüpi juhtimist:

- 1) Skalaarjuhtimine, mis omakorda jaguneb: lineaarjuhtimine ja ruutjuhtimine [2].
- 2) Vektorjuhtimine, mis omakorda jaguneb; mootori, staatori, roootori või õhupilu väljavektori juhtimine ning mootori momendi otsejuhtimine [2].

Kuna antud uurimustöö katselises osas juhiti elektriajamat lineaar-, ruut- ja vektorjuhtimise teel, siis pikemalt peatutakse nendel juhtimisviisidel.

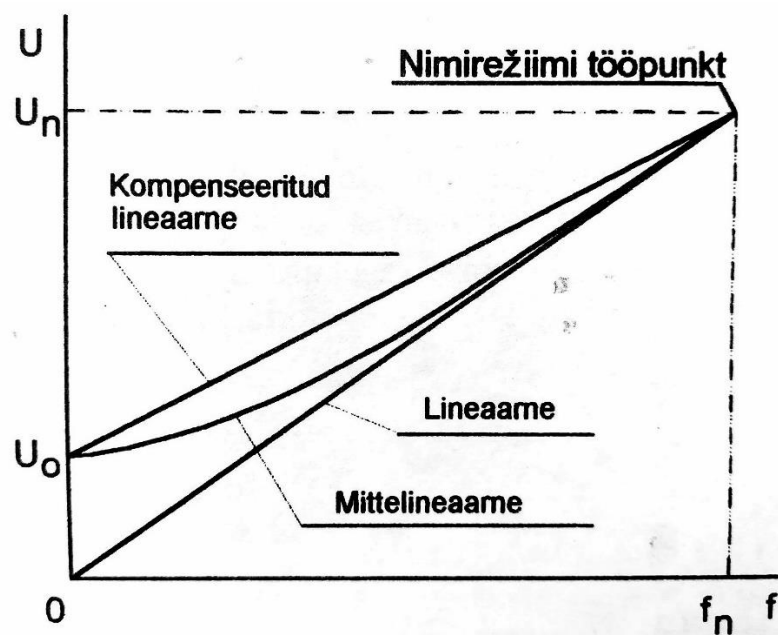
3.2 Skalaarjuhtimine

Skalaarjuhtimise puhul saab ajami kiirust reguleerida etteantud pinge ja sageduse vahelise konstadiga (lineaarjuhtimine, ruutjuhtimine), õhupilu konstantse magnetvooga, konstantse pinge või konstantse vooluga, konstantse võimsusega ning konstantse libistusega [5]. Kuna sageduse muutumisel muutuvad temaga võrdeliselt ka kõik induktiivtakistused siis tuleb reguleerida sagedusega koos ka mootori toitepinget [2]. Kiirust saab reguleerida vastavalt sagedust suurendades või vähendades, kuid see toob kaasa muutuse näivtakistuses. Näivtakistuse muutus toob omakorda kaasa vastavalt voolu suurenemise või vähenemise. Madala voolu korral väheneb sealjuures ka mootori pöördemoment. Juhul kui sagedus väheneb või pinge suureneb võivad halvemal juhul tähised mootoris ära põleda või mootor hakkab ebakorrapäraselt talitama. Selliste probleemide vältimiseks on vajalik sagedust ning pinget reguleerida samal ajal. Sellisel viisil

on võimalik sageduse ning pinge muutumise probleemid kompenseerida üheaegselt. Samuti on sellisel juhtimisviisil moment kättesaadav pea kõigis olekupunktides ja ajam saab talitada ka üle normaalkiiruse. See sobib hästi ajamitele, mis töötavad püsitalituses [3].

3.2.1 Lineaarjuhtimine

Enim levinud on juhtimine pinge ja sageduse kaudu, ehk lineaarjuhtimine. Sellel viisil hoitakse konstansena suhtelise momendi väärtuseid, $U/\omega = \text{const}$. Juhtimisel, vähendades sagedust, hakkab väikestel kiirustel vähenema ka mootori maksimaalne moment ning suurenema libistus. Selle vältimiseks on otstarbekas reguleerida kiirust kasutades mittelineaarset või kompenseeritud lineaarset seaduspärasust (Joonis 3.1) [5]. Kompenseeritud lineaarse seaduspärasuse puhul kompenseeritakse mootori momenti. Sagedusmuundur võib vastavalt koormuse tüübile valida kiirendusrambi. Juhul kui koormus on võrdeline pöörlemiskiirusega võib kasutada lineaarset rampi, kui koormus on pöörlemiskiirusega ruutvõrdeline, kasutatakse parabooli kujulist rampi [9].



Joonis 3.1. Lineaarjuhtimise etteantud seaduspärasused [5].

Lineaarjuhtimine sobib hästi püsivalt talitavate ajamite reguleerimiseks, kus sagedus ja pinge muutuvad suhteliselt aeglastelt. Momenti saab reguleerida muutes toitepinget, sealjuures moment on ligikaudselt võrdne toitepinge ruuduga. Skalaarjuhtimist kasutatakse peamiselt püsiva talitusega masinate puhul, mille kiiruse reguleerimine on aeglane. Vastasel juhul võivad dünaamilised protsessid ajamit niivõrd mõjutada, et tekib vääratumine, mootor võib seiskuda ning mähised võivad kuumaks minna [2].

3.2.2 Ruutjuhtimine

Ruutjuhtimise puhul hoitakse konstansena pinge ja sageduse vahelise ruudu suhet, $U/f^2 = \text{const.}$ Sagedus on sõltuvuses pinge kuubist ning moment on võrdeline kiiruse ruuduga $M \sim n^2$. Sageduse vähenemisel väheneb samuti ka moment. Kasutusel on enamasti pumbad ning ventilaatorid.

3.3 Vektorjuhtimine

Vektorjuhtimise puhul on tegu kas otsese, kaudse või loomuliku vektorjuhtimisega [2]. See juhtimisviis erineb skalaarjuhtimisest põhiliselt dünaamiliste protsesside poolest s.t, et vektorjuhtumisel võetakse arvesse mootoriahelates toimuvad protsessid, sealjuures vahelduvvoolu olekumuutujatena toimivaid suursi vaadatakse hetkväärtustena. Vektorjuhtimise nimetus tuleneb mugavusest olekumuutujate hetkväärtusi vaadata ruumis pöörlevate vektoritena. Vektorjuhtimise ülesandeks on väljavektori selliselt juhtimine, et tagatud oleks suur toimekiirus ning kasutegur [5]. Otsese vektorjuhtimise korral on tegu mootori õhupilu magnetvoo ning staatorivoolu vahetu mõõtmise või hindamisega mootori dünaamikamudeli järgi. Kaudset vektorjuhtimist võib võrrelda asünkroonmootori libistuse

skalaarjuhtimisega. Erinevuseks on see, et kaudse vektorjuhtimisega säilitatakse õhupilu magnetvoog konstantsena püsi- ja siirderežiimides. Libistuse juhtimisega saavutatakse mootori õhupilu magnetvoo konstantsus vaid püsirežiimides. Loomulik vektorjuhtimine põhineb aga hüpoteesil, et asünkroonmootori võib taandada ekvivalentseks alalisvoolumootoriks, mida kirjeldavad alalisvoolumootoriga sarnased võrrandid [5].

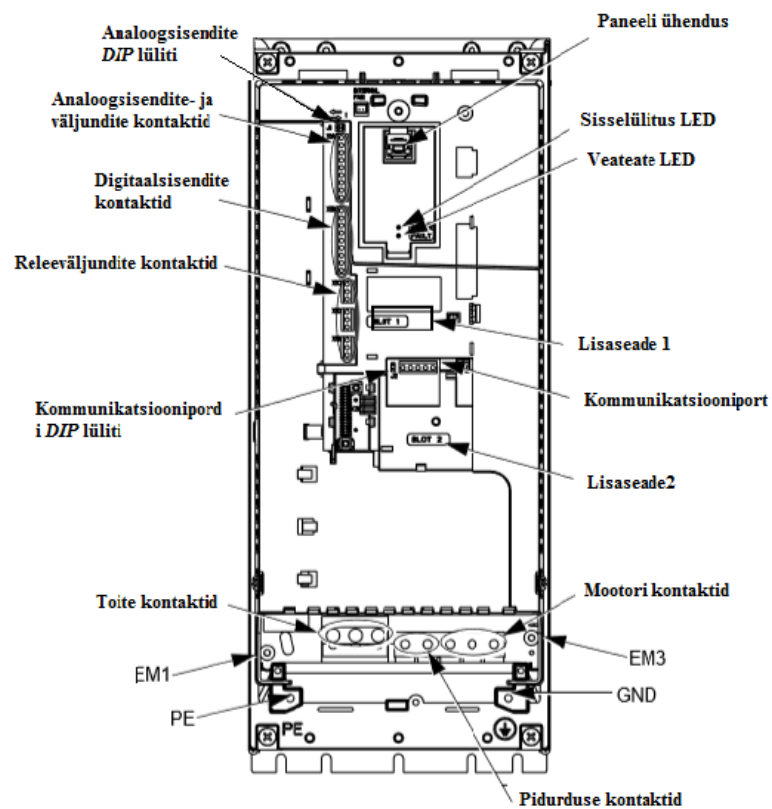
4. SAGEDUSMUUNDURI KATSETUSLIK UURIMINE

Uurimise eesmärgiks oli leida püsitalitusel sagedusmuunduri kõige optimaalsemad seadeparametrid, mis tagavad ajami parima kasuteguri ja ühtlasi ka väikseima energiatarbe.

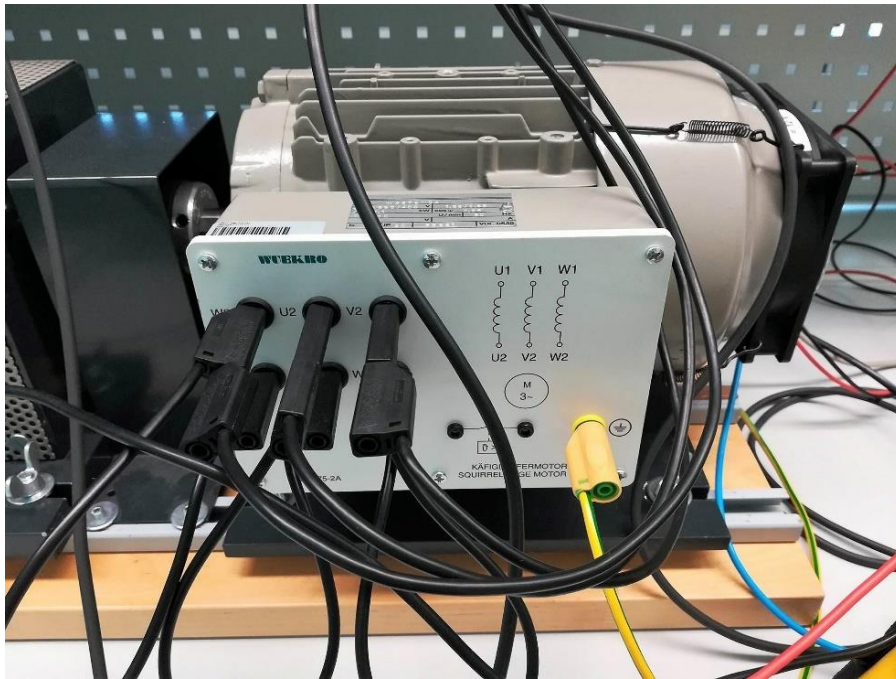
Katse läbiviimine nägi ette sagedusmuunduri erinevate seadeparametrite katsetamist eelnevalt koostatud stendis. Uurimise objektiks oli *ABB ACS550-01* sagedusmuundur (Joonis 4.1.). Katsetatava sagedusmuunduri üldskeem on toodud joonisel 4.2. Muunduriga toideti *Wuekro 3375-2A* kolme faasilist, nelja poolusega ajamimootorit (Joonis 4.3.), mis oli ühendatud kolmnurk ühendusse ning mida koormati läbi hooratta (Joonis 4.4.), *Wuekro 3375-1F* pöörivoolupiduriga (Joonis 4.5.). Pöörivoolupidurit juhiti läbi *Wuekro* koormusmasina juhtseadme (Joonis 4.6.). Pöörivoolud tekitatakse magneti ning konduktori vahel suhtelise liikumisega. Liikumise pidurdamine toimub voolu indutseerimise järel tekkivast tagurpidisest magnetväljast. Kogu katsestend on näha joonisel 4.7 ning lihtsustatud katseskeemi diagramm joonisel 4.8. Kasutatud seadmete loetelu on toodud tabelis 4.1.



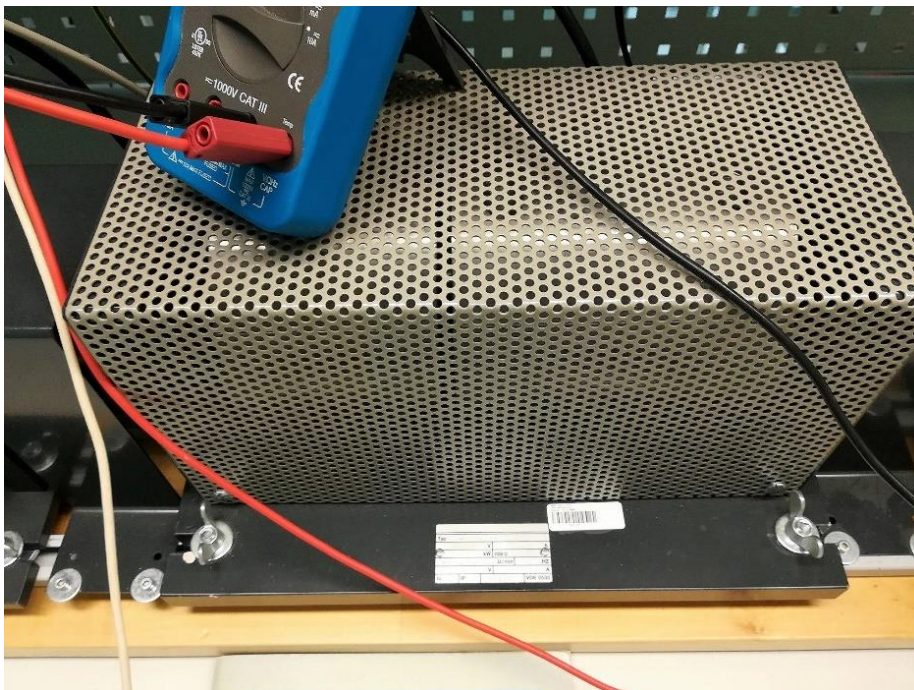
Joonis 4.1. Sagedusmuundur *ABB ACS550-01*.



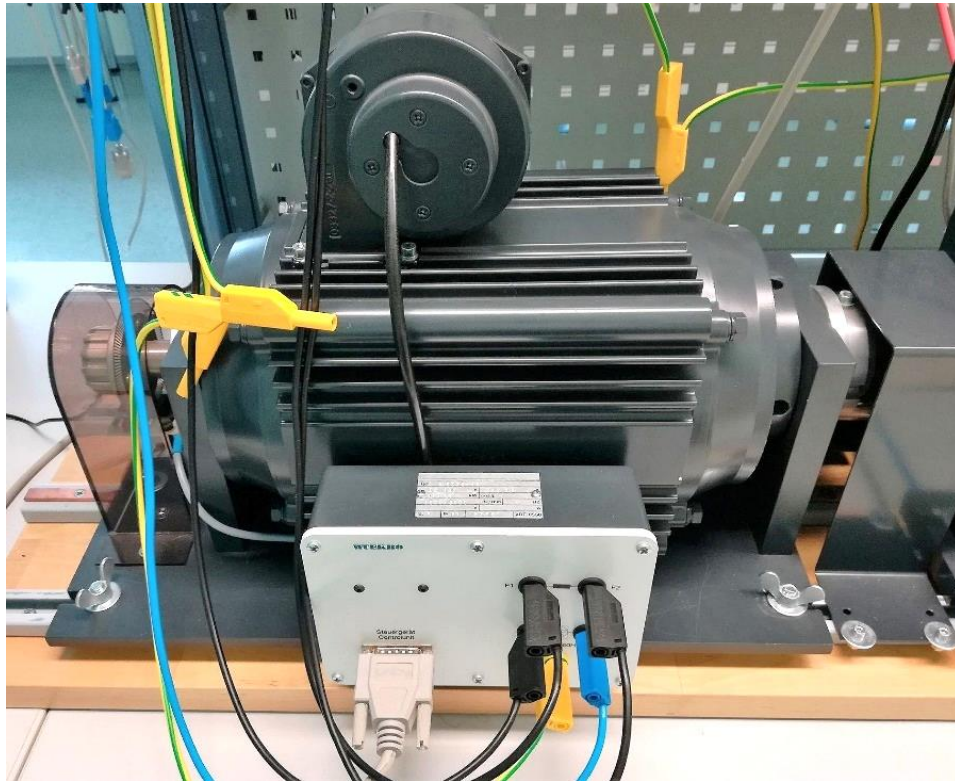
Joonis 4.2. Sagedusmuunduri *ABB ACS550-01* üldskeem [10].



Joonis 4.3. Ajamimootor *Wuekro 3375-2A*.



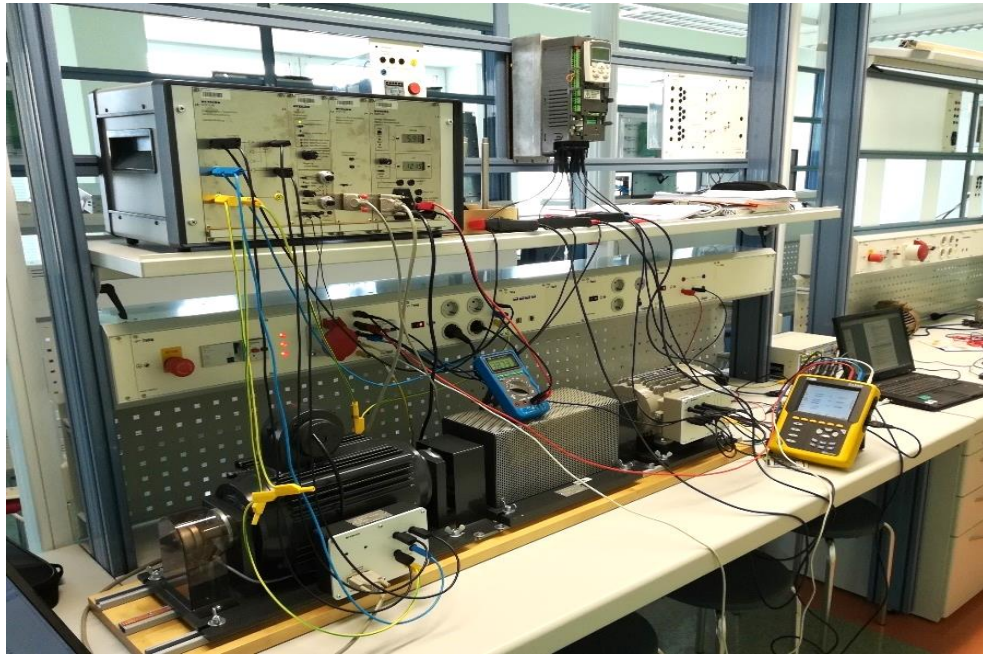
Joonis 4.4. Hooratas.



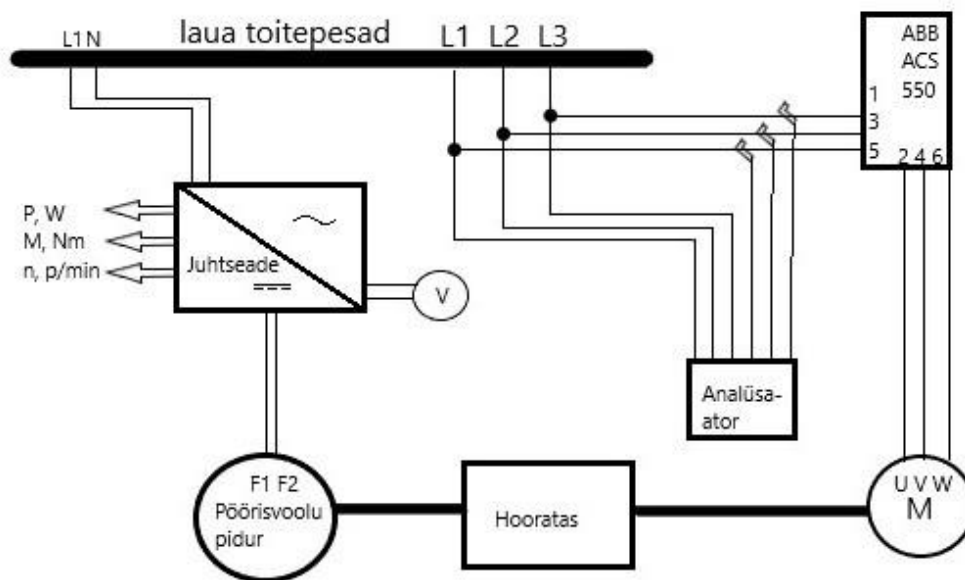
Joonis 4.5. Pöörivoolupidur *Wuekro 3375-1F*.



Joonis 4.6. Koormusmasina juhtseade *Wuerko*.



Joonis 4.7. Koostatud katsestend.



Joonis 4.8. ABB ACS 550 lihtsustatud katseskeem.

Tabel 4.1. Kasutatud seadmed ja nende parameetrid [11,12]

Seadme nimetus	Sildiandmed/Parameetrid
Sagedusmuundur <i>ABB ACS550-01</i>	3 faasi, 380-480V +10%/-15%, 0,75-355kW, 0-500Hz[7]

Ajamimootor <i>Wuekro 3375-2A</i>	Nimivõimsus 1,1 kW, Nimipöörded 1410 p/min, Sagedus 50 Hz, Kolmnurkühenduses: nimipinge 400 V, nimivool 2,65 A, kasutegur: 74 %
Hooratas	Mass: 30,85 kg,
Pöörisvoolupidur <i>Wuekro 3375-1F</i>	Nimivõimsus 1,1/1,3 kW, nimivool 180 V, nimipöörded 1500/3000 p/min,
Koormusmasina juhtseade <i>Wuekro</i>	
Analüüsija <i>Arnoux Chauvin C.A 8334B</i>	Võimsus 0-9999 kW,
Multimeeter <i>Finest 703</i>	Vahelduvvoolu pinge vahemik 0-1000 V

Katse sisuks oli erinevate momendi väärtustega erinevatel sagedustel ajamimootori koormamine. Muudeti suhtelise momendi väärtusi erinevatel sagedustel ning sisend- ja väljundvõimsuse kaudu sai arvutada kasuteguri. Vajalikud momendi suurused tuli esmalt arvutada mootori nimiparameetrite ja nimisageduse järgi ning need kanti tabelisse 4.2. Seejärel asuti rakendama saadud momendi väärtusi sagedustel 5-55 Hz. Sageduste muutmisel oli sammuks 5 Hz. Katsetusi alustati lineaarse juhtimisviisi uurimisega, kusjuures esimeses katses olid sagedusmuunduril vaikesätted. Teisel katsetusel uuriti sarnaselt esimesele katsele lineaarset juhtimisviisi, kuid muundurisse olid sisestatud katsetuses oleva mootori andmed. Kolmas katse uuris ruutjuhtimist ning neljas katse vektorjuhtimist kiiruse vektori kaudu.

Tabel 4.2. Momendi väärtused katsetamiseks

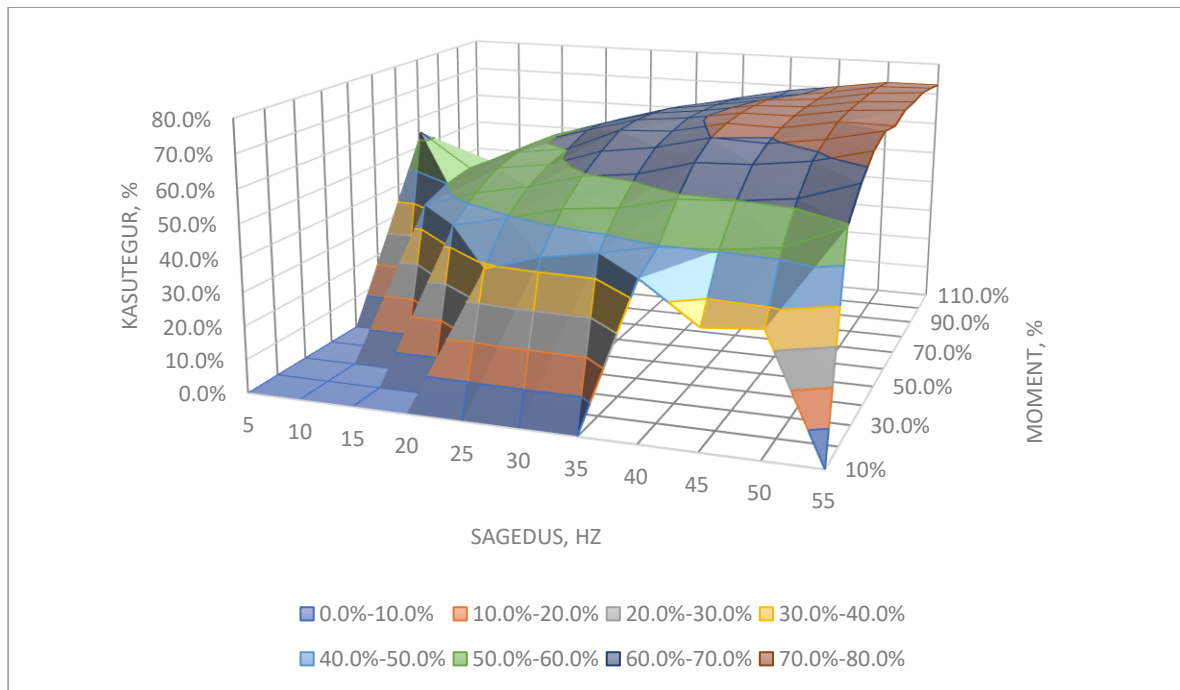
Suhteline moment %	Moment/ Nm
10 %	0,74
20.0 %	1,49
30.0 %	2,23
40.0 %	2,98
50.0 %	3,72
60.0 %	4,47
70.0 %	5,22
80.0 %	5,96
90.0 %	6,71
100.0 %	7,45
110.0 %	8,20

Esimeseks juhtimise viisiks oli lineaarjuhtimine ning sagedusmuundur oli vaikesätetel. Sagedusmuundur lülitati automaathäällestusele ning selle käigus ABB poolt kirjutatud

logaritmide põhjal sai sagedusmuundur vaikesäteteks mootori nimivõimsuse 1,1 kW, mootori nimivoolu 2,2 A ning nimipingeks 400 V. Mõõtmisi tehti 55 Hz alla poole liikudes. Liikumise sammuks oli 5 Hz. Suhtelise momendi väärtusi muudeti alates suuremast kuni väiksemani, et vältida mootori ning pöörivoolupiduri liiga kiiret kuumenemist. Saadud tulemused kanti tabelisse 4.3. ning tulemuste põhjal koostati joonis 4.9.

Tabel 4.3. Lineaarjuhtimine vaikesätetel

Sagedus, Hz													
Suhteline moment %	Moment/Nm		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
10 %	0,74	Kasutegur %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	45.5 %	34.0 %	35.5 %	0.0 %
20.0 %	1,49		0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	39.0 %	43.8 %	46.5 %	49.7 %	50.4 %	52.4 %	59.5 %
30.0 %	2,23		0.0 %	0.0 %	0.0 %	46.0 %	49.5 %	53.6 %	55.2 %	59.1 %	59.9 %	61.8 %	67.3 %
40.0 %	2,98		0.0 %	0.0 %	47.0 %	52.0 %	55.2 %	59.5 %	61.4 %	66.0 %	66.6 %	68.7 %	72.8 %
50.0 %	3,72		0.0 %	0.0 %	50.2 %	56.2 %	58.5 %	63.7 %	66.0 %	70.0 %	69.4 %	71.7 %	75.2 %
60.0 %	4,47		0.0 %	62.2 %	51.6 %	57.9 %	60.2 %	67.1 %	67.8 %	71.3 %	71.0 %	73.8 %	73.8 %
70.0 %	5,22		0.0 %	40.1 %	50.8 %	58.3 %	62.9 %	67.4 %	69.1 %	71.6 %	71.8 %	74.5 %	75.6 %
80.0 %	5,96		0.0 %	29.7 %	48.3 %	57.6 %	62.4 %	66.7 %	68.6 %	71.2 %	71.8 %	74.4 %	75.3 %
90.0 %	6,71		0.0 %	0.0 %	43.4 %	55.1 %	60.9 %	65.4 %	67.8 %	70.4 %	71.5 %	74.4 %	75.6 %
100.0 %	7,45		0.0 %	0.0 %	0.0 %	50.8 %	58.6 %	63.6 %	66.5 %	69.0 %	71.1 %	74.0 %	74.4 %
110.0 %	8,20		0.0 %	0.0 %	0.0 %	45.4 %	55.7 %	61.3 %	65.0 %	68.3 %	70.6 %	72.9 %	72.9 %



Joonis 4.9. Lineaarjuhtimine vaikesätetel.

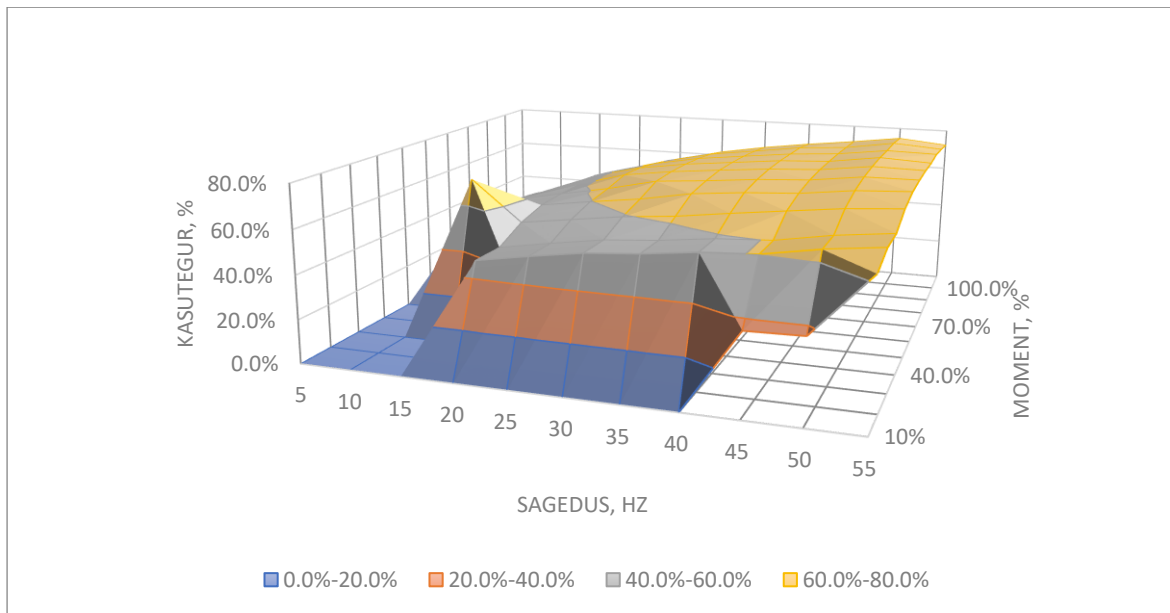
Jooniselt ning tabelist on näha, et kõige suurema kasuteguriga töötas ajam 55 Hz ja 70 % suhtelise momendi väärtuste juures. Jooniselt 4.9 on näha ka see ala, kus kasutegur on kõige suurem. Alates 60 % suurusega momendist ja 25 Hz tõuseb kasutegur üle 60 %. Masina optimaalseks töötamiseks on mõistlik kui kasutegur on 74 % lähedal, kuna see on tehase poolt ettenähtud kasutegur sellele mootorile [5]. Suurima efektiivsusega töötab ajam 40-55 Hz 60-90 protsendilise suhtelise momendi suurusega. 5 Hz sagedusega oli masina kasuteguriks 0 %. Samuti oli üpris väike kasutegur 10% suhtelise momendi koormuse juures. Huvitav nähtus on, et 10 Hz ja 60 % suhtelise momendi suuruse juures tuleb kasutegur 60 % ja moodustab graafikul üksiku tipu. See võib tuleneda ajamimootorile sobivast suhtelise momendi ja sageduse koosmõjust.

Teiseks uuritud juhtimise viisiks oli samuti lineaarjuhtimine, kuid sellel korral ei tehtud sagedusmuundurile automaathäälestust vaid sisestati muundurisse konkreetse katsetuses oleva ajamimootori nimiparameetrid. See tähendab, et nimivõimsus jäi 1,1 kW peale, mootori nimivooluks muudeti 2,65 A ning nimipinge jäi, samuti nagu esimesel katsel, 400 V. Katset korraliti samal moel nagu eelnevalt: mõõtmisi tehti 55 Hz alla poole liikudes, 5 Hz sammuga ning liiguti suuremast suhtelise momendi väärtusest väiksemani, et vältida

ajamimootori ning pöörivoolupiduri liiga kiiret kuumenemist. Saadud andmed kanti tabelisse 4.4 ning koostati ka joonis 4.10.

Tabel 4.4. Lineaarjuhtimine katsetatud mootori nimiaandmetega

Suhteline moment %	Moment/Nm		Sagedus, Hz										
			5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
10 %	0,74	Kasutegur %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	36.2 %	36.8 %	63.0 %
20.0 %	1,49		0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	59.2 %	44.8 %	47.1 %	50.4 %	51.9 %	54.9 %	60.7 %
30.0 %	2,23		0.0 %	0.0 %	0.0 %	47.1 %	50.9 %	54.4 %	56.2 %	59.0 %	60.3 %	64.3 %	67.0 %
40.0 %	2,98		0.0 %	0.0 %	71.8 %	53.3 %	56.4 %	59.5 %	61.6 %	64.7 %	67.6 %	70.4 %	72.1 %
50.0 %	3,72		0.0 %	0.0 %	52.0 %	56.5 %	59.8 %	62.8 %	67.0 %	69.2 %	70.5 %	73.4 %	74.6 %
60.0 %	4,47		0.0 %	42.1 %	52.7 %	57.3 %	61.5 %	66.8 %	68.6 %	70.8 %	72.1 %	75.1 %	75.3 %
70.0 %	5,22		0.0 %	34.9 %	51.1 %	57.6 %	64.0 %	67.2 %	69.5 %	71.5 %	72.7 %	75.8 %	75.3 %
80.0 %	5,96		0.0 %	0.0 %	47.9 %	58.0 %	63.4 %	66.8 %	69.2 %	71.5 %	72.7 %	76.0 %	74.8 %
90.0 %	6,71		0.0 %	0.0 %	42.2 %	55.6 %	61.6 %	65.8 %	68.4 %	71.0 %	72.5 %	75.6 %	75.1 %
100.0 %	7,45		0.0 %	0.0 %	28.2 %	51.8 %	59.3 %	64.2 %	67.3 %	70.5 %	72.0 %	75.6 %	73.8 %
110.0 %	8,20		0.0 %	0.0 %	0.0 %	45.6 %	56.1 %	61.6 %	65.6 %	68.7 %	71.5 %	74.6 %	72.3 %



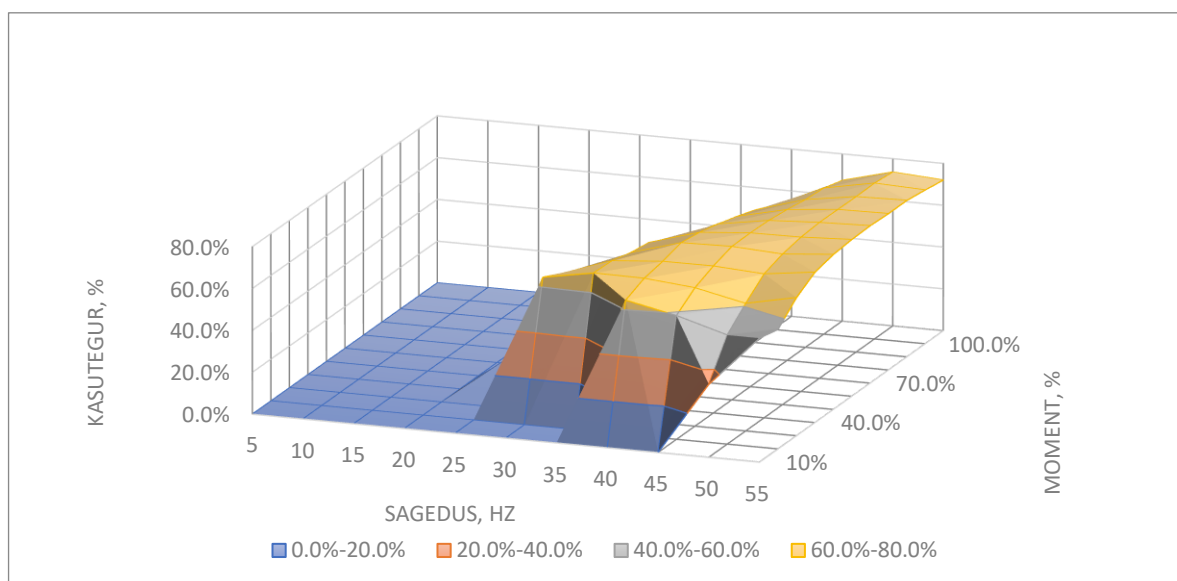
Joonis 4.10. Lineaarjuhtimine mootori sätetel.

Joonise 4.10 ning tabeli 4.4 lugemisel on näha, et suurima kasuteguriga töötab ajamimootor 50 Hz ja 80 % suhtelise momendiga, sealjuures on selge, et erinevus lineaarjuhtimisega vaikesätetel ei ole nii suur. Hea kasuteguriga piirkond jääb endiselt 40 ja 55 Hz ning 60-90 % suhtelise momendi alasse. Joonis 4.10 ning tabel 4.4 on üpris sarnased esimesele juhtimisviisile (lineaarjuhtimine vaikesätetel), sealjuures suurenenud kasutegur algab 25 Hz-st ja 40 % suhtelisest momendist. Märgata võib veel, et selle katsetuse korral vajub 110 % suhtelise momendi ja 55 Hz juures kasutegur rohkem alla kui eelnevalt katsetatud lineaarjuhtimisel vaikesätetel. Sarnaselt eelmisele katsele on 5 Hz juures kasutegur 0 % ning 10 Hz juures vaid 60-70 protsendilise suhtelise momendi väärtuste juures vastavalt 42 % ja 34 %. Eelmise katsega võrreldes on 15 Hz juures tekkinud kasuteguri tipp suurem. 40 % suhtelise momendi väärtuse juures on 15 Hz kasuteguriks 71,8 %, sealjuures esimesel katsel oli see 47 %. Sellest jäeldub, et sisestatud parameetritega tuli samas punktis kasutegur kaks kolmandikku suurem kui vaikesätetega juhtimisel.

Kolmandal katsel uuriti ruutjuhtimist. Selleks valiti sagedusmuunduri juhtmenüüs ruutjuhtimine. Sisestatud ajamimootori nimiparameetrid jäid samaks, nagu eelmisel katsel. Ruutjuhtimise korral hoiab sagedusmuundur konstantsena pinget ja sageduse ruudu suhet [5]. Saadud tulemused kanti tabelisse 4.5 ning tulemuste põhjal koostati joonis 4.11.

Tabel 4.5. Ruutjuhtimine

		Sagedus, Hz											
Suhteline moment %	Moment/Nm	Kasutegur %	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
10 %	0,74		0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	34.8 %	59.1 %
20.0 %	1,49		0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	64.2 %	59.1 %	52.1 %	57.1 %
30.0 %	2,23		0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	64.3 %	68.5 %	68.3 %	66.1 %	60.9 %	65.9 %
40.0 %	2,98		0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	17.8 %	59.7 %	68.1 %	70.1 %	70.1 %	68.7 %	71.8 %
50.0 %	3,72		0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	50.8 %	65.7 %	72.7 %	73.2 %	71.9 %	74.0 %
60.0 %	4,47		0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	34.4 %	64.3 %	71.4 %	73.4 %	73.7 %	74.8 %
70.0 %	5,22		0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	58.7 %	69.1 %	73.1 %	74.4 %	75.2 %
80.0 %	5,96		0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	51.1 %	66.5 %	72.0 %	74.4 %	74.7 %
90.0 %	6,71		0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	63.3 %	70.5 %	74.2 %	74.8 %
100.0 %	7,45		0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	59.2 %	69.8 %	74.5 %	73.5 %
110.0 %	8,20		0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	53.5 %	67.3 %	73.6 %	72.0 %



Joonis 4.11. Ruutjuhtimine.

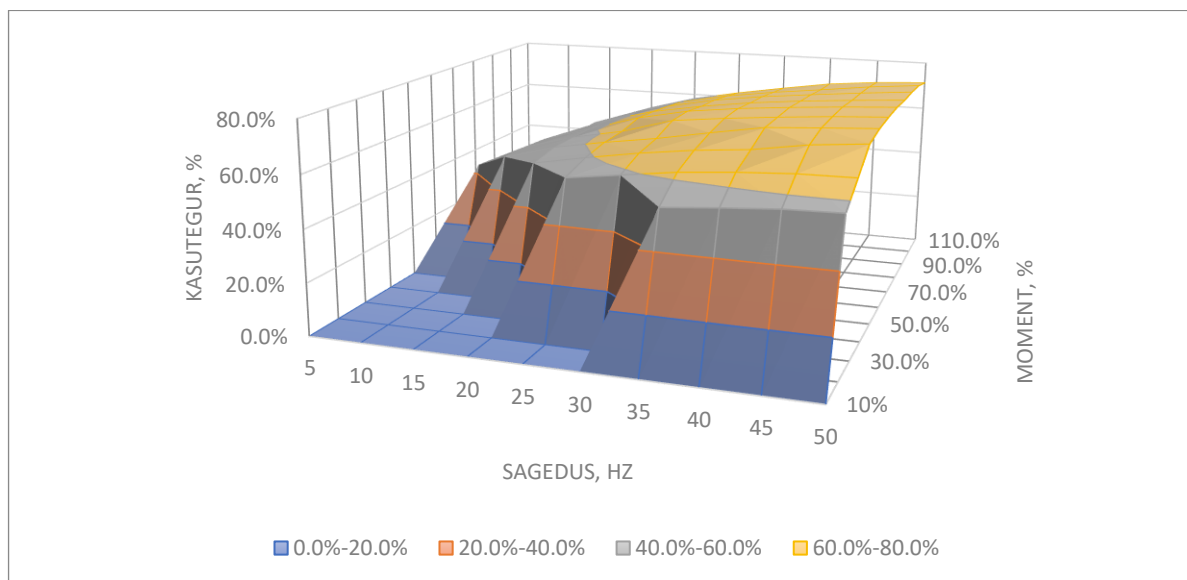
Erinevalt eelmistest juhtimisviisidest on ruutjuhtimine märksa tõrkavam. Sagedusel alla 30 Hz hakkas koormusmoment mootori kiirust nõnda palju vähendama, et mootor tahtis seiskuda. See tuleneb olukorrast, et ruutjuhtimisel langeb koos sagedusega sealjuures ka suhteline moment. Mida väiksemaks muutub sagedus, seda väiksem on ka moment. Mootori seisma jäädes oli oht, et masin hakkab ebakorrapäraselt talituma ning vappuma. Selle vältimiseks keerati moment maha, et mootori kiirust suurendada ning masinat kaitsta. 25 Hz juures töötas mootor ilma ebakorrapärata vaid 40% suhtelise momendiväärtuse juures ning siis oli kasuteguriks vaid 17,8 %. Masin töötas pea kõigi koormusmomendi väärtuste juures alates sagedusest 40 Hz. Sellest sagedusest ülespoole muutus ajami kasutegur küllaltki järsult suuremaks. Võrreldes eelmiste katsetega on joonisel 4.11 näha kasuteguri järsk ja kiire tõus. Maksimaalseks kasuteguriks sellel juhtimisviisil oli 75,2 %, mis on Wuekro poolt antud 74 protsendist 1,2 % suurem. 50 ning 55 Hz ja 60-100 % suhtelise momendi väärtuste juures jääb kasutegur 74 % lähedale.

Neljanda juhtimisviisina uuriti vektorjuhtimist kiiruse järgi. Selleks valiti sagedusmuunduris vektorjuhtimine. Ajamimootori parameetrid jäid samaks. Katsetuslik käik oli planeeritud sarnaselt nagu eelnevatel katsetel, kuid kuna mootor üritas libistusega pöördeid kompenseerida, siis suhtelise momendi muutmisel hakkas ka sagedus muutuma. See tähendas, et momendi erinevaid väärtusi muutes tuli hoida sagedust samuti samal väärtusel. Sageduse väärtusi muutes hakkas moment võnkuma ning vajas igal korral reguleerimist. Erinevalt eelnevatele katsetele, alustati 5 Hz sagedusega ning liiguti 5 Hz sammuga 50 Hz suunas, sealjuures iga Hz väärtuse korral prooviti suhtelised momendid alates 110 % kuni 10 % järjest läbi. Üle 50 Hz ei võimaldanud sagedusmuundur vektorjuhtimise korral sagedust tõsta. Samuti oli 10 % suhtelise momendi suurusega kasutegur kõigil sagedustel 0. Mõõdetud tulemused kanti tabelisse 4.6 ning selle põhjal koostati joonis 4.12.

Tabel 4.6. Vektorjuhtimine

Sagedus, Hz												
Suhteline moment %	Moment/Nm		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
10 %	0,74	Kasutegur %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %
20.0 %	1,49		0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	54.1 %	55.7 %	57.1 %	57.6 %
30.0 %	2,23		0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	56.5 %	59.1 %	61.7 %	63.3 %	64.4 %	64.7 %

40.0 %	2, 98		0.0 %	0.0 %	0.0 %	55. 9%	59. 5%	62. 7%	65. 3%	67. 1%	70. 3%	72. 1%
50.0 %	3, 72		0.0 %	0.0 %	52. 6%	57. 9%	61. 3%	64. 3%	67. 9%	71. 3%	72. 5%	73. 7%
60.0 %	4, 47		0.0 %	43. 3%	52. 4%	57. 9%	61. 7%	67. 5%	69. 7%	71. 5%	73. 0%	74. 2%
70.0 %	5, 22		0.0 %	40. 4%	51. 6%	57. 7%	63. 5%	67. 6%	70. 0%	71. 7%	73. 2%	74. 4%
80.0 %	5, 96		0.0 %	38. 0%	50. 0%	57. 5%	62. 6%	66. 1%	68. 8%	70. 8%	72. 4%	73. 7%
90.0 %	6, 71		0.0 %	35. 1%	47. 3%	53. 7%	61. 4%	65. 3%	68. 0%	70. 1%	72. 0%	73. 7%
100.0 %	7, 45		0.0 %	32. 4%	47. 5%	54. 2%	59. 8%	63. 8%	66. 6%	68. 9%	71. 4%	73. 1%
110.0 %	8, 20		19. 0%	28. 3%	43. 9%	52. 4%	58. 0%	61. 9%	65. 2%	68. 3%	70. 2%	71. 3%



Joonis 4.12. Vektorjuhtimine.

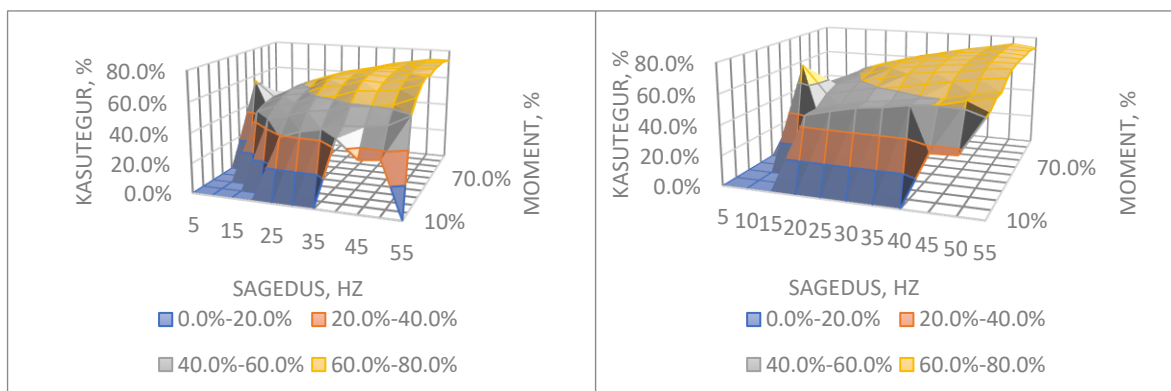
Vektorjuhtimise puhul on selgelt näha, et ajamit saab juhtida väga erinevatel sagedustel ja suhtelise momendi väärtustel. Erinevalt kolmest eelnevast juhtimisviisist on vektorjuhtimise puhul 10 Hz juures kasutegur, poole väiksem kui Wuekro enda ajami puhul ette näeb, vähemalt pooltel juhtudel olemas [13]. Vektorjuhtimine paistab olevat väga paindlik. Suurimaks kasuteguriks jääb sellisel juhtimisviisil 74,4 %. See tulemus saavutati 50 Hz ja

70% suhtelise momendi väärtuse juures. 60 % ja suurem kasutegur saavutati 25 Hz ja 50 % suhtelise momendi väärtustel.

Võrreldes nelja erinevat juhtimisviisi on kõige suuremaks erinevuseks vektorjuhtimise paindlikus. Kui lineaarjuhtimiste puhul jäävad kasutegurid pigem sarnasteks, siis masina üleüldise töötamise poolest on vektorjuhtimisel teiste juhtimisviiside ees eelis. See tähendab, et isegi väikese sageduse juures ja väikese suhtelise momendiga, jääb masin käima selle asemel, et seiskuks. Suurima kasuteguriga juhtimisviisiks on lineaarjuhtimine, kusjuures mitte vaikesätetega vaid sisestatud ajami sildiparameetritega. Sellele järgneb lineaarjuhtimine vaikesätetega ning siis ruut-ning vektorjuhtimine. Märkima peab veel, et nii lineaarjuhtimisel vaikesätetega kui ka ruutjuhtimisel saavutati suurim kasutegur 55 Hz juures, lineaarjuhtimisel enda sisestatud sätetega ning vektorjuhtimisel saavutati suurim kasutegur 50 Hz juures. Ruutjuhtimise puhul oli märgata kasuteguri teket alates suuremate sageduste sisestamisel, ning kasutegur tõusis üpris järsult. Ruutjuhtimine pole võrreldes vektorjuhtimisega üldsegi mitte paindlik, see tähendab, et masinat ei saa juhtida väikeste sageduste ning väikeste momendiväärtuste juures. Kui võrrelda skalaarjuhtimist ning vektorjuhtimist siis on näha, et skalaarjuhtimise viisid on energiasäästlikumad kui vektorjuhtimine. Vaadates suurima ja väiksema maksimaalse kasuteguri vahet kahel juhtimisviisil siis lineaarjuhtimisel mootori sisestatud parameetritega on see 76 % ja vektorjuhtimisel 74.4 %. Vahe võib tunduda esmapilgul pisike, 1.6 %, kuid suures tööstuses, kus masinaid on palju, mängib ka selline erinevus suurt rolli. Kui tööstus saavutab 1,6 % iga mootori pealt energiasäästu, siis 100 mootori puhul on säästuks juba piltikult 160 %. Energiatarbimisel tuli erinevus sisse ka lineaarjuhtimisel vaikesätetega ning lineaarjuhtimisel ajami enda andmetega. Kahe suurima kasuteguri vahe oli 0,4 %. Antud katsed tõestasid, et sagedusmuunduri seadeparameetrid mõjutavad ajami energiatarbimist. Optimeerides tehasesätteid ning sisestades muundurisse elektriajamite täpsed parameetrid on energiasääst garanteeritud.

KOKKUVÕTE

Antud töös uuriti sagedusmuunduri seadeparameetrite mõju elektriajami energiatarbimisele ning selgus, et seadeparameetritel tõesti on mõju ajami energiatarbele. Võrreldes kahte erinevat juhtimisviisi, skalaar- ning vektorjuhtimine, võib väita, et skalaarjuhtimise viisid, lineaarjuhtimine ning ruutjuhtimine, on energiasäästlikumad kui vektorjuhtimine. Seadeparameetrid mõjutavad ka ühe ja sama juhtimisviisi puhul energiatarbimist. Katsetatud lineaarjuhtimine vaikesätetega ja lineaarjuhtimine ajami enda parameetritega (joonis 4.13) näitavad, et juhul kui sagedusmuundurisse sisestada juhitava mootori sildandmed, on energia säästmine täiesti reaalne. Tehtud mõõtmistel tuli suurimate kasutegurite vaheks 0,4 %. Võrreldes kahte enimlevinud juhtimisviisi: skalaar- ja vektorjuhtimine, selgus, et suurimate kasutegurite vahe oli 1,6 %, mis tähendab ettevõttele, kus on kasutusel mitmekümneid või isegi sadu ajameid, ratsionaalset võitu energiatarbimises ning suuremaid võimalusi konkurentsipüsida.



Joonis 4.13. Lineaarjuhtimise vaikesätete (vasakul) ning lineaarjuhtimise ajami parameetritega(paremalt) võrdlus.

Sagedusjuhtimisviise on mitmeid erinevaid ning oluline on igal tööstusel ning ettevõttel, vastavalt ajamite arvule ning iseloomule, leida oma sobivad juhtviisid, et tagada sääst energiale ja tulevikule.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. Energy Efficiency with Electric Drive Systems, ZVEI - German Electrical and Electronic Manufacturers' Association Automation Division Electric Drive Systems Section, 2015.
https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Presse_und_Medien/Publikationen/2015/mai/Energy_Efficiency_with_Electric_Drive_Systems/ZVEI-Brochure-Energy-Efficiency-with-Drive-Systems.pdf (15.05.2018)
2. **Tõnu Lehtla.** (2007). Elektriajamid. Tallinn: TTÜ kirjastus. 201 lk
3. **G. Kohlrusz, D Fodor.** (2011). Comparison of scalar and vector control strategies of induction motors. Ungari. 6lk
4. Sagedusmuundurid. <http://www.ene.ttu.ee/elektriajamid/oppeinfo/AAV3361/7.html> (15.05.2017).
5. **Juhan Laugis. Tõnu Lehtla.** (1994). Asünkroonajamite sagedusjuhtimine. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool. 90 lk
6. ABB general purpose drives, ACS550 0.75 to 355 kW/,1 to 500 hp Catalog.
https://library.e.abb.com/public/4a056d47337b4c0b821c7d1b18b9446e/ACS550_catalog_EN_3AFE64792857_RevR_2705.pdf (15.05.2018)
7. Complete list of plugs, sockets and voltage by country.
<https://www.worldstandards.eu/electricity/plug-voltage-by-country/> (15.05.2017).
8. **Beijer electronics.** (2008). Sagedusmuundurid. Eesti. Koostaja: Indrek Vendelin. 92 lk
9. Elektriajamite juhtimine.
http://www.tthk.ee/Elektriajamid_2011/Elektriajamite_juhtimine.html (14.05.2018)
10. ABB User's manual AC S550-01 Drives (0,75...160kW). 2007. ABB.
https://library.e.abb.com/public/313b6ebaf237059fc1257d0a0048fd68/EN_ACS550_01_U_M_H_A4.pdf (15.05.2018)
11. Finest 701 User Manual.
<https://www.manualslib.com/manual/924906/Finest-701.html?page=2#manual> (15.05.2018)
12. RS Components Ltd. Chauvin Arnoux C.A 8334 Power Quality Analyser. <https://uk.rs-online.com/web/p/power-quality-analysers/4842088/> (15.05.2018)
13. Training & Didactic Systems, Electrical Machines 300 W, Catalog WA2E/05.01.
http://www.vosinstrumenten.nl/_clientfiles/WUEKRO/PDF/WUEKRO-EM5.pdf (15.05.2017).

Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Mina, Henry Kerge,
(*autori nimi*)

sünniaeg 24.11.1991,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö
Sagedusmuunduri seadeparameetrite mõju elektriajami energiatarbimisele

_____.

(*lõputöö pealkiri*)
mille juhendaja(d) on Hardi Hõimoja PhD,
(*juhendaja(te) nimi*)

- 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
- 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
- 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

- 2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;
- 3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor _____
(*allkiri*)

Tartu, 21.05.2018
(*kuupäev*)

Juhendaja kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

Hardi Hõimoja
(*juhendaja nimi ja allkiri*)

21.05.2018
(*kuupäev*)